

MOC '09 速報

宮下 隆明 (リコー)

会議名： Microoptics conference '09
 開催期間： 2009年10月25日(日) - 10月28日(水)
 開催場所： 日本科学未来館(東京、日本)

*****要 約*****
 MOCは「マイクロオプティクス」に焦点をあわせた学会で、1987年に第1回が日本で開催されて以来、今年が15回目の開催である。参加者は246名、論文は172件(招待講演などを含み)が報告された(うち日本からは88件)。本年は「ディスプレイ・照明」「センシング」「フォトニッククリスタル」「導波路」「スイッチングデバイス」「ファイバ技術」「光インターコネクション」など9分野のセッションが生まれ、さらに「高画質ディスプレイ・ブロードバンド技術」の特別セッションが設けられ、活発な議論がおこなわれた。

1. はじめに

MOCはマイクロオプティクスに特化した学会で、第15回の今年は東京での開催になったことから参加者が増え246名(昨年は220名)であった。世界同時不況の影響で、参加者が大きく減るのではないかと危惧されたが、心配されたほどのことはなかったようだ。昨年は144件(ポスターセッション87件を含む:他に招待講演10件)であった論文が152件(ポスターセッション110件を含む:他にプレナリー講演:3件、招待講演13件、チュートリアル4件ほか)とやや多くなった。日本からの論文は88件で約52%であったが、来年の開催地である台湾から30件の報告があり、急激な増加が見られた。

本年は「A:プレナリー」、「B:ディスプレイ・照明」、「C:センシング」、「D:フォトニッククリスタル・グレーティング」、「E:特別セッション・高画質ディスプレイ・ブロードバンド技術」、「F:導波路」、「G:スイッチングデバイス」、「H:ディスプレイ用材料」、「J:ポスターセッション」、「K:アクティブ・ファンクショナルデバイス」、「L:光インターコネクション」、「M:ファイバ技術」のカテゴリ別に報告が行われた。

会期に先立ち10月25日の午後には「Microoptics Review」として、半導体レーザ、光導波路、光ファイバ、DOEs(回折光デバイス)の4件のチュートリアル講演がおこなわれた。

会議は、東京・お台場地区の日本科学未来館(館長:毛利衛氏)で開催された。会議場の施設は、ポスターセッションのスペースがやや狭かった点を除けば機能的で非常に良かったと言える。

2. 会議の概要

10月25日(日) - 10月28日(水)に会期が設定され、2日目(26日)の夜には、「E:特別セッション」が開催され、20:30近くまで議論が続いた。3日目(27日)は、朝から15:00過ぎまで通常の口答発表があり、その後ポスターセッションがおこなわれた。続いて「MOC Award Ceremony」、恒例の「町田フィルハーモニー・パロックのメンバーによるマイクロコンサート」、「Conference party」が開催された。コンサートでは、いつもながらの心地よいときを過ごさせていただき、パーティーでは参加者同士、特に海外か

らの多くの旧知の親友たちとの懇談の時間を持つことが出来た。会期最終日 28 (水) にはペーパーアワード (論文賞)、学生論文賞の表彰も行われた。以下、興味深かった講演について紹介する。

3. 会議の内容

3.1 プレナリー

Kashiko Kodate (Japan Women's University) が、DOEs (回折光デバイス) をベースとした光デバイス、光情報処理への応用などについて、Meint K.Smit (COBRA, Eindhoven University of Technology) が、光通信用のフォトニックデバイス・集積技術の現状とブレイクスルー技術を含めた将来展望について、C. J. Chang-Hasnain (University of California, Berkeley) が、誘電体サブ波長格子を用いた HCG (High Contrast Grating : 高コントラスト回折格子) の現状と光通信用光集積デバイスへの応用の可能性、さらには非線形光学素子を構成してのセンシング応用の可能性などを報告した。

3.2 ディスプレー・照明

5 件の講演があり、液晶ディスプレイの改良のためのフィルム構造に、LED の高効率化などに関する報告があった。

A. Bräuer (Fraunhofer Institute Angewandte Optik und Feinmechanik (IOF), Jena, Germany) らは、LED光源とマイクロレンズアレイを組合わせた”LEDスポットアレイジェネレータ”で、マイクロレンズの構造をさまざまに変えることで、2次元の均一照明の可能性を示した。さらに、スポットジェネレータと呼ばれる、単一LED光源から 21×21 スポットの 2次元ドットマトリクス照明を試作し、2次元ディスプレイの可能性について報告した。レーザ光源と回折光学素子の組み合わせで生ずるスペックルパターン、温度依存性の問題の解消などにつながるとしている。ポリマー・オン・ガラス技術を用い、ガラス基板にポリマーマイクロレンズを形成した。これは、マイクロレンズ間にクロストーク防止用のアパーチャーを形成する必要があるためである。また、レーザの場合課題になる 0 次光の問題も発生しない。小林 (慶応大学) らはカーナビゲーション、携帯電話などのLCDディスプレイを偏光サングラスを通して見る際に生ずる帯状の不透過部分を解消するために、高位相差ポリマーフィルムを開発した。携帯電話のディスプレイ表面に貼り付けてテストしたところ、サングラスの回転角に関わらず、35CD/m²の明るさで観察することが出来るなど位相変換の効果が確認された。Mount-Learn Wu (National Central University : 台湾) らはGa₂N系LED表層の p-GaN表面にSi₃N₄の周期的微細構造を形成することで、シミュレーションでは 20%、試作では 15%の放射効率の向上がはかれることを報告した。

3.3 センシング

6 件の講演があり、サンプルへのレーザ光照射による高次プラズモン共鳴を用いた近接場走査顕微鏡観察、テーパーファイバ表面へのカーボンナノチューブ形成とモードロックファイバレーザーへの応用、最新のマイクロレンズの特性計測技術、ファイバーセンサ、薄型画像入力デバイスなどに関する報告があった。

M. Kujawinska (Warsaw University of Technology : Poland) らは、招待講演で、最近のマイクロレンズの測定技術の動向を報告した。赤外光を用いたマッハ・ツェンダー干渉計での波面収差測定、DPW (陽子光放射) を用いて作成するマイクロレンズの化学反応での凸レンズ形成段階での形状変化を干渉を用いたデジタルホログラフィック・トモグラフィー技術で測定する方法、ファイバ中の 3次元ストレスを光弾性トモ

グラフィーで測定する方法, ミラウ型干渉計, トワイマン・グリーン型干渉計を用いた M(O)EMS デバイスの表面形状測定技術などを報告した. Yosuke Mizuno (The University of Tokyo) らは, 酸化ビスマス系の高非線形ファイバを用いて, ブリルアン振動数シフトの温度依存性について検討した. 従来のテルライト系ファイバを用いた場合に同様に温度に依存した変調周波数の変位が観察でき, 温度, ストレス検知用のファイバーセンサへの応用の可能性を明らかにした.

Brückner (Fraunhofer Institute for Applied Optics and Precision Engineering) らは, マイクロレンズアレイを用いた 2 種類の薄型画像入力デバイスの現状を報告した. ひとつは, レンズピッチ 0.25mm の 3 枚構成のマイクロレンズアレイを用いて, 超薄型の等倍結像デバイスを設計・試作した. デバイス長さ(厚さ): 5.5mm, F 値: 9, レンズピッチ: 0.25mm, 物体距離: 2.3mm, 解像度: 50 本/mm, センササイズ 5×5mm である. 中間像を形成する方式の 3 枚構成の光学系は, テレセントリック光学系を採用している. レンズ間には, 平面に配置されたアパーチャーを複数枚(例では 4 枚)配置している. 結像に寄与する(寄与してほしい)光線だけをレイトレースした場合にはクロストークは発生しないが, 実際には, レンズ間に有効光束以外を遮光するためのレンズの光軸に沿った立体的な構造の遮光構造を設けないとクロストーク光が発生し光学系のノイズ(フレア光)のために像のコントラストが低下する. 類似の光学系は幾世代にもわたって検討された実績もあり, ほとんど実用化されたものがない. アイデアは面白いものがあるが, さらに検討が必要になるだろう. 二つ目は, 短板のレンズアレイにイメージセンサを組み合わせた簡単な構造のデバイスであり, 各レンズに対応したイメージセンサには, それぞれ異なる倒立像が投影され, それらを合成することで全体のイメージを得る. デバイスの厚さは 2mm とかなりの薄型化がはかれており, 解像度も 49 本/mm と報告しているが, 合成された画像を見る限りノイズ成分が大きく, これもクロストーク光をいかに低減するかが課題になる. 今後の進展を期待したい.

3.4 フォトニッククリスタル・グレーティング

6 件の講演があり, 高速光アナログ・デジタル変換へのフォトニッククリスタルの応用, フォトニッククリスタルを用いた 3 次元構造デバイス, プリズムとグレーティングを一体化した大口径高効率分光器, 遠赤外線用途の分光器, などに関する報告があった.

Seok-min Kim (Chung-Ang University, Korea) らは, Surface Enhanced Raman spectroscopy (表面増感ラマン分光) に用いる, フォトニッククリスタル上に SiO₂, TiO₂ 層を形成した後, ナノ構造の SiO₂ のポスト(柱状構造)とポストのトップに Ag のキャップをかぶせた構造(Post-Cap 構造)を最適化することで, 最大 28 倍の増幅効果をもたらした. Kaoru Nakajima (Japan Women's University) らは, すばる望遠鏡の遠距離銀河探査に用いる分光器用に, プリズムとグレーティングを一体化したグリズムと呼ばれる分光器プリズム開発について報告した. 750~1050nm の帯域での回折効率をグレーティングの厚みを最適化した. 試作した結果, 回折効率は, 1020 nm で 87%, 900 nm で 83.6% の実用可能な結果が得られた. 入射角度±2.8° のオフセットに対応している. また, 110×106mm の大面積をカバーする波面収差も 0.22λ (633nm) と良好な結果が得られた. 今後, すばる望遠鏡に実装されるとのことである. S. Oyama (Utsunomiya University) らは, 遠赤外線用途の断面が 38μm ピッチで高さが 45μm のサイン波形状で, 表面に 20nm 厚の金属薄膜を形成した回折格子型の偏光素子試作結果を報告した. 従来の赤外線用途の偏光素子には, ワイヤグリッドなどが用いられていたが, 精度確保, 耐久性などの問題があった. 断面が三角形形状の微細構造を用いた場合より良好な消光比 30dB 以上, 挿入損失 3dB 以下の結果が得られた. THz 領域での偏光子としての応用が期

待できる。

3.5 特別セッション：高画質ディスプレイ／ブロードバンド技術

4 件の招待講演があり、2 件の高画質ディスプレイ、同じく 2 件の次世代ブロードバンド技術に関する報告があった。

Hideo Takezoe (Tokyo Institute of Technology) は、LCDディスプレイの現状の課題を整理した。従来からの課題であった視野角が狭い、残像現象、コントラストが不十分といった課題はほぼ解消され、現在は、エネルギー消費をいかに抑えるか、3次元ディスプレイの開発、さらには、次世代ディスプレイの開発に焦点が移っていることを解説した。Maki Sato (SONY) は、次世代フラットパネルディスプレイに求められる課題を整理した。現状多くのディスプレイで採用されているs-RGBでは、マンセルカラー色票（高彩度の物体色を示すMichael R. Pointerが提唱したマンセル・カラー・カスケードという48色相16明度で768色の色票群）の55.8%しか再現できない。色空間領域の拡大（カラーギャム再現領域の拡大）をはかる必要があり、100%の再現が可能な xvYCC方式への転換が検討されている。また、現状は、各色8bitで表現されている Color depth（RGBなど各色に分解したときの一つの要素の階調の数）を10bit、さらには16bitへの拡大も色再現性（階調性）の向上のために必要になってくる。フレームレートの向上も大きな課題であり、現状の60-120フレーム/秒を240フレーム/秒への拡大も検討する必要がある。さらには、3Dディスプレイの開発も大きな課題になることを示した。

G.D.Khoe (COBRA Institute, Netherlands) は、最近の光ネットワークの動向について、特に加入者系ネットワークの高速化のためには、光ルーティング技術が重要であることを解説した。ただし、一般ユーザーの使い勝手の良さを追及するためには、ファイバーアクセスだけでなく、無線接続も含めた最適化を検討する必要があることも示唆した。Larry R. Dalton (University of Washington, USA) は、Si と有機物ポリマーを用いたハイブリッドデバイスの現状について解説した。材料特性について論じ、さらに Si 系導波路にポリマーフィルム（25nm）を組み合わせた導波路の試作例なども紹介し、技術の進展状況を明らかにした。

3.6 導波路

6 件の講演があり、ポリマー導波路に関する報告、低損失 Si 系導波路作成技術などに関する報告があった。

J. Mohr (Institute for Microstructure Technology, Karlsruhe, Germany) らは、光リソグラフィ技術を応用した最近のポリマー光導波路の作成技術を整理し、光通信用途だけでなく、バイオフォトリック用途での微小流体計測用のmicrofluidic analytical system（マイクロ流体計測システム）などへの応用について解説した。PMMA材料をベースとした深紫外線露光による光回路形成技術がベースであるが、エポキシなどの熱硬化性樹脂との複合化の可能性なども示した。Chia-Chi Chang (National Central University, Taiwan (R.O.C)) らは、シリコン・オン・インシュレーター型導波路の導波路屈曲部分にベンゾシクロブテンでマイクロプリズムを形成することで、10°、30°、40°、55°、60°などさまざまな角度の曲げに、位相補償理論に基づいた低損失での対応が可能であることを示した。

3.7 スイッチングデバイス

5 件の講演があり、MEMS を用いた 2 次元ミラーアレイ、マイクロリングレゾネーターを用いた光導波路波長スイッチ、AWG (arrayed-waveguide grating : アレイ導波路回折格子) の導波路構造の最適化による

伝播波面の整合と損失低減などに関する報告があった。

Yuko KAWAJIRI (NTT) らは、2次元ファイバーアレイ間のスイッチングのために512チャンネルのMEMSミラーシステムを開発した。2枚のMEMSミラーを平行に近く配置し、対向するトロイダル凹面鏡を配置したために、MEMSミラーの稼動範囲を大幅に小さくすることができた。ファイバ-ファイバ間のMEMSミラー平均挿入損失は5.3dBであった。MEMSミラーのクリッピングロスが3.8dBであったが、ミスアライメントを低減することで最大で1.5dB以下に低減できる見通しを持っていることを示した。Kengo Tanaka (Yokohama National University) らは、4連のマイクロリングレゾネーターを試作し、同デバイス表面に設けたヒーターによる温度制御（電流制御）により、平行する2本の導波路間の広帯域スイッチングの可能性を示した。

3.8 ディスプレー用材料

4件の講演があり、LCDなどのディスプレイ高性能化のための位相補償用ポリマーフィルム、ハイブリッドポリマーフィルムを用いた光学多層膜、アドミッタンス測定に基づく光学薄膜成膜モニタリングなどに関する報告があった。

Kota Shikama (Keio University) らは、液晶ディスプレイなどの位相補償用に用いるポリマーフィルムの複屈折の低減のために、ポリマー中に SrCO_3 （ストロンチウム・カーボネート）を分散させる試みについて報告した。最近、位相補償フィルムの複屈折制御、特に波長分散制御が必要とされていることに対応するもので、 SrCO_3 の分散制御により37 μm 厚のフィルムで50nmの逆分散を示すことが確認できた。これは、無機物を用いて位相補償フィルムを作成した最初の例であるとしている。Okihiro Sugihara (Tohoku University) らは、従来ポリマーフィルムでは難しかった高屈折率素材を TiO_2 などの無機結晶微粒子をポリマーに分散させることで実現した。 TiO_2 含有量の制御により屈折率を1.52~1.82の間で制御することができた。 TiO_2 を薄膜形成した際の屈折率2.2~2.3に比べれば値は小さいが、低屈折率素材と組み合わせれば、多層膜作成も可能になる。低屈折率ポリマーとしてペルフルオロ化合物 ($n=1.34$) と、ハイブリッドポリマー (TiO_2 を分散させたエポキシレジン: $n=1.75$) とをスピナーを用いて交互に20層を基板に積層したミラーは、反射率99%以上 (850~950nmの領域) を示し、無機物で作成した誘電体多層膜に匹敵する特性を得た。

3.9 アクティブ・ファンクショナルデバイス

6件の講演があり、マイクロリングレゾネーターの4波長混合、GaN系LEDの出力向上検討、SLD（スーパーミネッセントダイオード）の高効率化、共振ミラー（DBR (Distributed Bragg Reflector : 分布ブラッグ反射ミラー)）をカンチレバーに取り付けたGain-matched（利得整合）VCSEL（Vertical Cavity Surface Emitting Laser : 面発光レーザ）の温度依存特性の改良などに関する報告があった。

Sheng-Han Tu (National Central University, Taiwan (R. O. C.)) らは、GaN系LEDのサファイア基板の平坦な表面形状を変化させることで、出力の向上がはかれる可能性を示した。LED作成用のサファイア基板をエッチングにより異なる形状を作成し、MOCVDによりGaNの多層量子井戸構造を作成した。サファイア基板に直線ストライプの凹凸を設けた場合、離散型のピラミッド形状を設けた場合、さらに離散型に円柱を設けた場合、それぞれ19.8%、35.3%、40%の出力の増加が観察され効果が確認できた。Zhigang Zang (Kyushu University) らは、LD（レーザダイオード）の高輝度性とLEDの低コヒーレンス性を持ち、光応用計測や光通信など高S/Nを必要とする赤外発光素子として期待されているSLDの出力向上を試みた。

従来は直線上に矩形で形成されていた発光部(導波部)の形状を工夫し、途中に幅の広い部分を2か所設け、マルチモード干渉部を構築し115mWの出力を達成した。従来の構造に比べ消費電流は増えているが、印加電圧は減少させることができ、54%の出力向上がはかれた。

3.10 光インターコネクション

5件の講演があり、In-Pベースの光集積デバイスの現状、光導波路上に形成したグレーティングカプラの試作検討、MEMS加工技術を用いた光インターコネクトモジュールの試作例、導波路にトレンチ(溝)を平行に形成したモードコンバータの理論検討と試作結果などに関する報告があった。

Yuki Kita (Kyoto Institute of Technology) らは、 freespace オプティクスに応用する光導波路上に形成されたグレーティングカプラを試作した。CRIGIC (Cavity · resonator · integrated grating input/output coupler) と名づけた方式で、従来方式に比べ高効率を実現した。DBRを導波路表面に形成したグレーティングカプラの前後に配置した。試作したところ、CRIGICの $20\mu\text{m}$ アパーチャーからの反射効率 80% (843.5nm)程度になり、デバイスの小型化が実験的にも確認できた。Hsu-Liang Hsiao (National Central University, Taiwan (R.O.C.)) らは、MEMS加工技術を用いて、SiOB (シリコン・オプティカル・ベンチ)に形成した 45° の角度を持つマイクロミラーによりMMF (マルチモードファイバー)とVCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser : 面発光レーザ)、MMFとPD (フォトダイオード)を空間的に接続をすることで簡易な光インターコネクトモジュール ($4\text{ channel} \times 2.5\text{ Gbps}$)を作成した。MMFとVCSEL間の結合効率は -5.6dB を達成し、受光部のMMFとフォトダイオード間のトレランスも $\pm 20\mu\text{m}$ 程度とれるとしている。

3.11 ファイバ技術

7件の講演があり、ホーリーファイバ(空孔構造ファイバ)の現状、高速光伝送用低損失プラスチック光ファイバの開発、ナノインプリント技術を用いたブラッググレーティングフィルター、フォトリソグラフィを用いた光ファイバなどに関する報告があった。

Takahiro Kado (Keio University) らは、高速ホームネットワーク伝送に用いるための低損失 GI-POF (Graded Index Plastic Optical Fibers : 分布屈折率型プラスチック光ファイバ)の改良を検討した。家庭内の必要配線長さを $30\sim 50\text{m}$ とすると、VCSELなどの光源との組み合わせでは、 $670\sim 680\text{nm}$ の波長域で 200dB/km 以下の損失が求められるが、従来のPMMA (アクリル)系ファイバでは達成が困難であった。重量比をそれぞれ 43% と 57% としたMMA (methylmethacrylate : メチルメタクリレート)とPFPMA (pentafluorophenyl methacrylate : ペンタフロロフェニルメタクリレート)の共重合体で試作したファイバは、 $670\sim 680\text{nm}$ の波長域で $172\sim 185\text{dB/km}$ の損失を示した。改良型のGI-POFは、家庭内でのプラスチックファイバを用いたギガビット伝送の可能性を示唆している。T. Hashimoto (Waseda University) らは、ナノインプリント技術(紫外線アシストサーマルインプリント技術)を用いた、3次元構造のポリマー導波路に形成するブラッググレーティングフィルターを試作した。試作されたフィルタデバイスは設計ピークの波長近くで 40dB の伝送コントラストを示し、分極依存も無い特徴を示した。ただし、ナノインプリント加工時の離形の際の加工誤差により生じていると考えられる、 1535nm 近傍での高次モード伝達が発生している。今後の課題として検討を続けるとのことであった。

4. おわりに

本会議は、「マイクロオプティクス（微小光学）」というキーワードで結ばれる、オプティクスだけでなくオプトエレクトロニクス技術全般の会議として成長を続け、第1回が開催されてから22年が経過した。初期は、どちらかと言うとオプティクスの要素の方が強かったが、VCSELの登場による空間光情報処理をめざしたアクティブデバイスとパッシブデバイスの融合などの影響もあり、マイクロオプティクスという幅広い分野をカバーする会議としてその価値を定着させてきた。これは伊賀先生（東工大・学長）をはじめ、応用物理学会・日本光学会・微小光学研究会のスタッフの献身的な貢献、さらには海外研究者とのネットワーク構築をはじめとした努力の成果である。

「マイクロオプティクス」は、光デバイスをはじめ、応用技術、計測技術など幅広い技術分野をカバーしている。また最近は、ナノの世界との融合も始まっている。今後のますますの進展を期待したい。

今回は、また開催地を海外に移し、台湾（National Chiao Tung University：新竹サイエンスパーク）で2010年10月31日（日）－11月3日（水）の開催が予定されている。